スタビライズドレーダーアンテナシステム
A Stabilized Radar Antenna system

伊藤智恭 Tomoyasu Ito　井上眞太郎 Shintaro Inoue　矢澤克己 Katsumi Yazawa　佐藤基夫 Motoo Sato
森田孝一 Kouichi Morita　須藤正則 Masanori Sudoh　松本茂 Shigeru Matsumoto

The radar on a ship is used for marine's safety sailing, and it becomes indispensable. In recent years, owing to the increase of small pleasure boats, there is a request of the improvement of the radar performance to detect these small boats with small radar cross-section. On the other hand, for fishing boats, there are requests of the improvement of the radar performances that are close-range detection performance which is to detect small targets, such as buoys, in the clutter of sea or rain, and the radar long-range detection performance which is to watch the status of the buoy for the almadraba and the operational status of other ships in far place.

For these detection performance improvements, it is necessary to improve not only the signal processing capability but also the radar system-gain. The increase of the antenna gain is effective for the improvement of the radar system-gain.

To improve the antenna gain, it is usual method to use an antenna in long length to narrow the horizontal beam width of the antenna. However, in this method, the antenna becomes so large as not to equip the radar in the limited space on a ship.

To overcome these difficulties, we developed a high-gain antenna by narrowing the vertical beam width of the antenna. Moreover, we developed the new stabilized mechanism that the antenna always keeps the horizontal level.

In this report, the overview of the stabilized radar antenna system by using these techniques is introduced.

1. まえがき

船舶に搭載されるレーダーは，海上航行に使用され，安全航行のためには必要不可欠になっている。近年，レジャー用小型船などの普及にともない，小レーダー反射断面積のこの小型船を探知するためにレーダーの探知性能の向上要望がある。一方，漁船においては海面反射や雨などのクラッタ内にあるブイなどの小物標を探知するレーダー近距離探知性能と遠方の定置網ブイや他船の操業状況を監視するレーダー遠距離探知性能の性能向上の要望もある。この探知性能の向上には信号処理による性能改善だけでなく，レーダーシステム利得の向上も必要となる。システム利得の向上には送信と受信の両方に寄与するアンテナ利得の増加が効果的である。アンテナ利得の向上には，アンテナのスパンを長くして水平ビーム幅を絞る方法が一般的であるが，この方法では空中線が大型化し，限定されたマウントスペースにレーダーアンテナを搭載することが困難となる。この問題を解決するために，垂直面のビーム幅を狭くする方法による高利得アンテナを開発し，更に船舶搭載用としてこのアンテナが能力を発揮するために，アンテナが常に水平を保持するスタビライズド機構も開発した。以下，これらを用いたスタビライズドレーダーアンテナシステムを試作したのでその概要を紹介する。

2. 空中線部の構成

2.1　スタビライズドレーダーアンテナの構成

図1には，今回試作したスタビライズドレーダーアンテナシステムの回路ブロック図を示す。図中の左側半分がレーダー部，右側半分が動揺補正部で構成されている。

レーダー部は，一般的な船舶レーダーで使用されるパルスレーダー方式の送受信部である。

図1に示すようにアンテナは送受信兼用タイプであるため，アンテナ利得を上げることは送信と受信利得の両方が上昇するため，レーダーシステムの利得向上には大きな効果がある。今回，レーダーアンテナのスパン長を変えないで，開口の高さを若干，大きくして垂直面方向のビーム幅を狭め，アンテナ利得を増加，しいてはレーダーシステム利得を向上するスタビライズドレーダーアンテナシステムを検討した。

垂直面のビーム幅が狭いこのシステムの場合，洋上での波による動揺に対しても安定してレーダー性能を得るため，図1で示したように動揺補正機構が追加された空中線となっている。

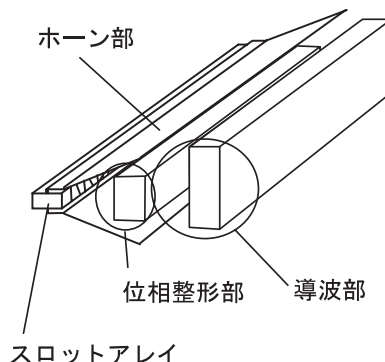



図2　アンテナの概略図
Fig.2 Structure of antenna

＜　レーダ部　＞
アンテナ部
AC100V
ネック ヒータ
電源
モータ
ロータリー ジョイント
エンコーダ
BP/BZ
パフォーマンス モニタ
ブレーキ 回路
コント ロール
DCモータ 電源回路
モータ制御 回路
フィルタ
安全 スイッチ
マグネ トロン
ダイオード リミッタ TRHPL
ダミー
受信回路
パルス トランス
同調制御
MIC
帯域制御
IFアンプ
変 調 回 路
送信 トリガ
ビデオ 増幅回路
ファン
VD
送受信制御および インターフェース回路
高圧
電源回路
+5V
+12V
+10V
±15V
空中線モータ用DC電源
シリアル通信
指示器

＜　動揺補正部　＞
ピッチ側 ポテンショメータ
ピッチ側 モータ
ロール側 モータ
ロール側 ポテンショメータ
安全 スイッチ
DC電源
DC電源
ピッチ側 ドライバ
ロール側 ドライバ
DC電源
ロール側 ドライバリレー
ピッチ側 ドライバリレー
ブレーキ 解除リレー
DC電源
ピッチ側動揺センサ
傾斜センサ
角速度センサ
ロール側動揺センサ
傾斜センサ
角速度センサ
動揺制御回路
DC電源
シリアル通信
DC電源
空中線回路ブロック図

図1　スタビライズドレーダアンテナシステムの回路ブロック図
Fig.1 Block diagram of the Stabilized Radar Antenna system

2.2　アンテナ

レーダーアンテナの狭垂直面ビーム化の手法についてその概要を図2に示す。

従来の船舶レーダー用アンテナはスロットアレイ[1]とホーン部で構成されていたが，試作アンテナでは，新たにホーン部の内側に垂直面開口分布の位相波面を円筒波から平面波に変換する位相整形部を設けるとともに，開口面前面には遅波動作[2]を行う誘電体基板などからなる導波部が設けられている。これにより，効率よく垂直面指向性を狭ビーム化している。

3. 動揺補正部

3.1　動揺補正部仕様

スタビライズドレーダーアンテナシステムペデスタル部の外観図を図3-1に，本装置の動揺補正部の主たる仕様を表1に示す。

表1　動揺補正部の主たる仕様
Table 1 Mechanical specifications

項目	仕様値
動揺修正角度範囲	ロール：±10°，ピッチ±10°
動揺集修正精度	2° rms
動揺周期	最小6秒（±10°）
耐風速	相対風速51.5m/s

図3　外観図
Fig.3 Antenna pedestal

3.2　動揺補正機構部

今回開発した動揺修正機構部は，ジンバル部，アーム部，ロール軸駆動部，ピッチ軸駆動部で構成され，図3に示すペデスタル部筐体に内蔵されている。

ジンバル部は，2軸ジンバル機構を有しインナージンバルにアンテナ部が取付けられている。

ロール軸駆動部，ピッチ軸駆動部の駆動装置には直動機構を用い，それぞれの直動機構はアーム部を介してジンバル部に連結されている。この駆動部直動機構の直線移動量

はアーム部によって回転移動量に変換される。したがって，この各直動機構の直線偏移量を制御することにより，波による動揺を修正し，ジンバル面が水平を保つよう補正することが可能となっている。

3.3　動揺補正制御部

動揺補正部のブロック線図を図4に示す。図の検出系は，ジンバル面（直交するロール軸とピッチ軸により保持された面）にあり，ロール軸とピッチ軸方向の各々の傾きを示す2つのセンサが設置されている。

波によって船舶が傾斜した場合，ジンバル面と平行なアンテナ回転面の目標面は水平であるから，ジンバル面上に配置された2つ（ロール，ピッチの各軸）の動揺角検出センサの検出値が0度となるように，図4の制御系及び駆動系を使用してアンテナ回転面を制御し，面が水平になるようにしている。

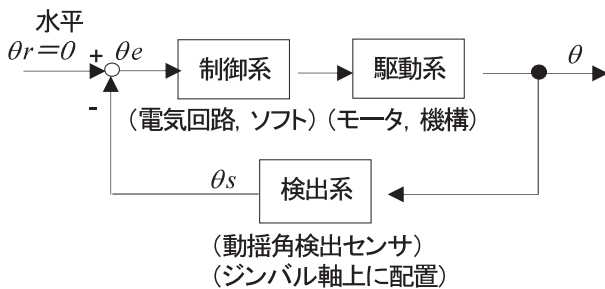



図4　動揺補正制御部ブロック線図

Fig.4 Block diagram of the stabilized control part

3.4　動揺補正精度

動揺補正の制御精度スペックは，先に述べた表のとおりである。実際に当社の動揺試験台を使用して試験した精度検証結果の一例を図5に示す。ロール，ピッチの各軸において充分な精度を有することが判る。

※　動揺条件：ロール　振幅10度／周期6秒
　　　　　　　ピッチ　振幅10度／周期8秒

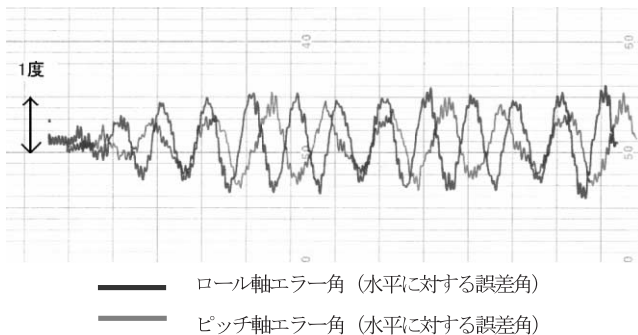



図5　動揺試験結果

Fig.5 Axis angle errors at ship motion test

4.　評価試験

4.1　レーダー映像比較評価

今回開発したスタビライズドレーダーアンテナシステムの評価において，従来アンテナ（空中線）を装備したレーダー[3]と開発したアンテナを装備したレーダーの映像比較評価を行った。

評価に使用したレーダー諸元[4]は表2に示す通りで，垂直面ビーム幅以外はほぼ同性能である。システムゲイン差は6.72（dB）である。

表2　レーダー諸元

Table 2 Specification of radars

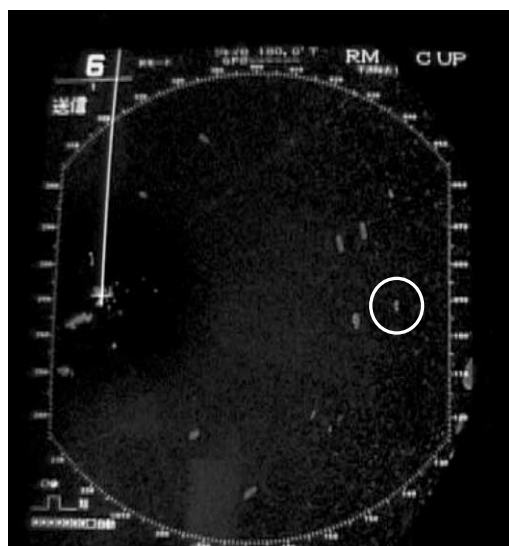
周波数9410MHz	従来空中線を装備したレーダー（従来レーダー）	スタビライズドレーダーアンテナシステムを装備したレーダー（開発レーダー）
水平面ビーム幅	1.20度	1.18度
垂直面ビーム幅	25度	14.3度
アンテナ利得	29.5（dBi）	32.7（dBi）
送信電力（尖頭）		
LONG-RANGE	15.8（kW）	16.4（kW）
最小受信電力	－95（dBm）	－95（dBm）
STC特性	同等	同等
受信機log特性	同等	同等
立体回路S11	同等	同等
アンテナ回転数	24rpm	24rpm
システムゲイン差（2way）	基準	+6.72（dB）

レーダー映像比較評価は西伊豆の海岸で行った。従来レーダー及び開発レーダーはそれぞれ同じアンテナ高になるように調整され，レーダーアンテナ間距離は約2m，海面からのアンテナ高は約12mであった。なお，評価日の海面状況は，穏やか（SS=1）であり，波の周期8m程度，高さ0.5m程度であった。また，測定時刻の潮位は，ほぼ干潮状態（基準水面から－0.8m）であった。

目標となる物標は，駿河湾上の小型漁船（9トン）とした。小型漁船は，長さ約9ｍ，最高高約5ｍのもので，データ取得は離隔方向，即ち船尾方向からの反射信号をもとにおこなっている。

図6は，海上の小目標を探知した例である。

図6の（a）は従来レーダーのPPI画像を示し，（b）は，今回開発したレーダーのPPI画像を示している。

図6中の白丸は目標とした駿河湾上の小型漁船（9トン）であり，（b）の開発したレーダーの方が明るく映っている。

（a）従来レーダー
（a）Current model radar

（b）開発レーダー
（b）Experimental radar

図6　PPIレーダー映像
Fig.6 PPI image

図7は，図6（a），（b）で示したPPI映像を収録した時間付近のBスコープデータにおいて小型船の受信レベルがもっとも大きくなる方位の受信データを抽出・処理し，信号レベルとして表示したものである。目標位置が従来レーダーで9.8NM，開発レーダーで9.9NMと約0.1NM程位置差があるのは，データ収集を切り替えているためである。この信号レベルを比較すれば，開発レーダーの物標の方が0.1NM遠い距離にあるにもかかわらず，信号レベルが高いことがわかる。また，この信号レベル差は受信電力に換算して比較すると，開発レーダーの方が6.48（dB）高い結果を得られ，表2で示したシステム利得差6.72（dB）とほぼ一致することを確認した。

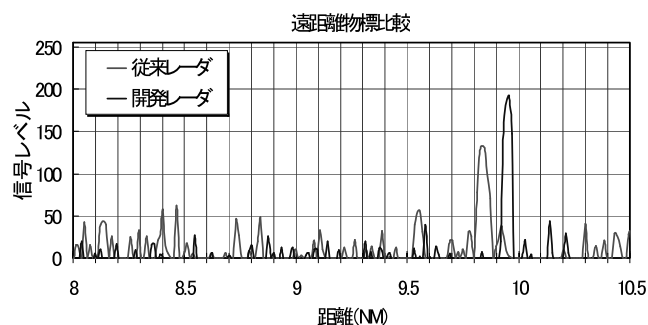



図7　遠距離小物標の受信レベル
Fig.7 A Comparison of received power levels

5. まとめ

レーダーアンテナを狭垂直面ビーム化する一方法についてその構造を考案，試作，評価した。また，このアンテナを船舶に搭載するための動揺補正機構を考案，試作，評価をおこなった。

総合的な評価は，従来タイプのレーダーを同時作動させて各種のデータを比較することにより，定性的，定量的な評価をおこなった。

その結果，レーダーのシステム利得の向上が確認され，高性能化が計られたこと，及び海上での使用に対して必要な波の動揺に対する補正機構に充分な補正精度があることが確認できた。

参考文献

[1] 落合徳臣，茂在寅男（共著），レーダの理論と実際，4章，海文堂出版㈱，東京，1959.
[2] 虫明康人，安達三郎（共著），基礎電波工学，共立出版㈱，9章他，東京，1970.
[3] 日本無線㈱，JMA－3900レーダシリーズ取扱説明書
[4] 伊藤智恭，松本茂，狭垂直面ビームアンテナを用いた船舶レーダの実験研究，電子情報通信学会宇宙航行エレクトロニクス研究会，東京，2005.